從伊朗對以色列空襲論守勢防空

康嘉宸

提　要

一、伊朗和以色列的一來一往讓我們得以重新確立防空系統的發展方向與重新的評估其效益。其中，成本低且智慧化的系統係我國未來應著墨的領域。尤其是高效能低成本的反無人機、反彈道飛彈、反巡弋飛彈等的發展，將會是我國未來應關注的重點。

二、隨著敵對勢力能力的增長以及打擊成本的下降，飽和攻擊的威脅業已重新浮上檯面，需要有新型態的設計以茲應對——具備聯網作戰能力及更加「聰明、輕巧」、能快速填充補給、具有高備彈深度等相關能力。

三、先期預警，包含立方衛星、預警機、長程雷達、情報體系、滯空氣球等等，結合攔截指揮能力，並以MANET網路架構建立共同防空圖像，可參考諸如美方相關系統、以色列鑽站體系等等的功能去行延伸，是發展的當務之急。

四、不同於以往媒體的宣稱，鐵穹的射程和功能將在此篇詳細分析與解釋之下得到截然不同的結果，連同其餘以色列防空系統，都將在此進行介紹。尤其是大眾甚至是智庫等長年對鐵穹等的迷思，是需要糾正、重新評估的。

五、不對稱作戰不僅僅包含了無人機等「新興」系統，更是包含了防空等重要「傳統」系統。妥當的運用、安排而非盲目地跟從方是正確。

關鍵詞：防空系統、以伊戰爭、低成本、智慧化彈藥、飽和攻擊、不對稱作戰

前　　言

伊朗以及以色列之間的代理人戰爭縱使曾經互為盟友業已長達數十年之久。2024年兩者之間的衝突更是轉為直接互相轟擲飛彈、火箭彈等，區域緊張局勢大為升級。原先，以色列防空系統主要面臨哈瑪斯(Hamas)與真主黨(Hezbollah)的火箭彈襲擊，頂多偶爾一兩枚敘利亞叛軍、葉門相關組織的彈道飛彈襲擾。然而，在本系列衝突之中，由於伊朗的加入，完全達到了全新的境界。大量的彈道飛彈、巡弋飛彈以前所未有的數量射向以色列，搭配無人載具以及火箭彈突襲，意圖佔滿以色列防空系統。

然而，由於長年來對於相關能力的忽視，以色列防空系統沒有辦法滿足全然攔截的需求，伊朗的彈道飛彈成功打擊了部分區域，包含以色列的一處空軍基地、以色列最高情報機構摩薩德(Mossad)附近的空地等。縱使因為精準度不足而未能達到完全的軍事成效，但已達成製造恐慌、

破壞安寧以及造成設施毀損等成果。[1]

面對中共的威脅，我國將承受更為嚴峻的情勢，將面臨更為巨大的打擊規模。故此，引以為鑑並思索精進乃是我中華民國保護人民、嚇阻進攻的重要作為。

襲擊與防禦概要

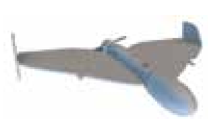
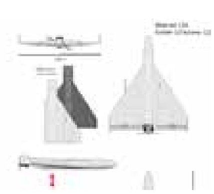
一、伊朗的復仇

在2024年4月1日，以色列發動了對伊朗駐敘利亞大使館的空襲。其中造成了16人死亡，包含大量伊朗的伊斯蘭革命衛隊成員以及伊朗准將扎赫迪。因此，是月13日(當地時間；臺灣時間14日清晨)，伊朗連同伊拉克、真主黨以及胡賽組織對以色列進行了報復打擊，代號「Operation True Promise」，共計170架自殺式無人機、30枚巡弋飛彈以及120枚彈道飛彈，更包含了350枚自上述國家發射的火箭彈。另一方面，鑒於以色列一連串自七月至九月的行動，於當地時間十月一日，伊朗發布了「Operation True Promise 2」對以色列發射了約莫200枚飛彈，其中更包含了大量彈道飛彈以及新型「法塔赫(Fattah)」極音速飛彈。其中，大量飛彈對於以色列造成了實質的打擊。而以色列亦於26日對於伊朗發動了如同手術刀般的空襲，打擊了少數軍事目標。以下將分別就「無人機」、「火箭彈」以及「彈道飛彈」進行敘述。

(一)無人機的應對

對於無人機的應處，以色列及美國、英國等其同盟國，主要是使用戰鬥機掛載空對空飛彈進行攔截。

然而，由於單架戰鬥機可以攜帶的彈藥有限，在此次任務中還發生了彈藥耗盡而只得使用機砲的情況。[2]這種情況著

	AIM-9X	Shahed-136	Shahed-131	Qods Ra'ad 85
圖像				
單價	472,000 美金（美國海軍）	約 20,000 至 50,000 美金	約 10,000 美金	不明
使用方式	戰鬥機掛載攔截來襲者	設定敵方座標後運用 GNSS 衛星導航輔以慣性導航系統前往目標		攝影鏡頭連線傳遞影像遙控
射程	35.4 公里	2,500 公里	900 至 1,500 公里	100 公里

常見攔截武器以及伊朗製自殺式無人機(或言迴盪彈藥)價格與使用方式比較表(筆者編彙)

1 Tamara Qiblawi, "The Middle East On the Brink Again After Attack On Iranian Consulate", CNN, April 1, 2024, https://edition.cnn.com/2024/04/01/middleeast/syria-iranian-consulate-attack-middle-east-intl/index.html.

實令人擔憂，畢竟倘若是大規模會戰時將會無以應付，畢竟對於前線制空任務便已需要大量人力與彈藥，對於這種防空任務將會是一大致命傷。尤其單趟攔截成本高昂，不論是使用空對空飛彈抑或是使用機砲，都勢必要再加上飛機維護、燃料成本。況乎，這樣的風險也很大，例如在今年俄烏戰爭中烏克蘭有一名飛行員便在攔截任務中墜機失事。飛機再買還有，但是寶貴的飛行員沒了就是沒了。這也令以色列、美國、德國、英國、日本等開始思索以傳統飛彈、機砲或甚至是「彈砲合一」地面防禦系統，乃至新興的電磁脈衝(Electromagnetic Pulse，簡稱EMP)、電磁頻譜作戰以及雷射武器擊落無人機的可行性。目前，也出現了以無人機打擊無人機的應用與研究。

(二)火箭彈防禦

火箭彈方面，以色列歷年來和哈瑪斯、黎巴嫩的衝突，業已促使其在成本效益的壓力下研發頗負盛名而低成本的「鐵穹(Iron Dome)」防空系統、可以攔截更高等級更遠射程火箭彈的「大衛投石索(David's Sling)」以及即將亮相的「鐵束(Iron Beam)」百萬瓦級雷射防禦系統，於這次衝突中最大幅度的減少了火箭彈造成的損失，乃至於幾乎沒有實質上的損失。

1.鐵穹防空系統(Iron Dome Air Defense System)

鐵穹系統主要係以色列於2000年至2008年間，尤其是2006年第二次黎巴嫩戰爭，由於蒙受南部加薩走廊以及北部真主黨發射的大量火箭彈造成的重大損失，於2007年啟動的一項防空計畫，將設計定位為低成本防空系統，全案秉持著「以成本為第一優先打造(built around cost)」的思維。計畫設計與樣品打造完成於2009年，並於次年，2010年，通過了最終測試。然而，縱使如此，但火箭彈成本，尤其是哈瑪斯以及真主黨大量使用的土製火箭彈成本更為低廉，是促使以方決定發展雷射的原因之一。

鐵穹全套系統由以色列航空工業EL/M-2084 MMR主動相位陣列雷達的輕量縮小版、火力控制計算單元(指揮中心，以下以其英文簡稱BMC表示)以及發射裝置所組成。其中，BMC會依據雷達提供資料，計算敵方火箭可能落點並與設定檔比較，只選擇性的攔截並忽略不會擊中預設保護區域，亦即人口密集地的火箭，節約成本並避免彈藥上的浪費，以應對飽和攻擊。[3]

其飛彈發射裝置攜有20枚塔米爾攔截彈，具有「低成本」的重要特徵，採用

2 Natasha Bertrand, & Haley Britzky, "American fighter pilots explain how they fought an overwhelming Iranian drone swarm in total darkness", CNN, November 15, 2024, https://edition.cnn.com/2024/11/15/politics/american-fighter-pilots-describe-taking-down-iranian-drones/index.html.

3 "Iron Dome Air Defence Missile System", Army Technology, October 20, 2023, https://www.army-technology.com/projects/iron-dome/.

先進雷射近炸引信，在靠近時側向破片噴射對敵方資產造成殺傷，並且採用中段資料鏈加上主動雷達導引段的導引結構。其中，因為採用主動雷達導引段，一來省去了高靈敏度接收天線的成本，二來使系統免於受到分時照明的最大接戰目標數量限制，提高了靈活性。其宣稱具有超過90%的攔截率，而倘若依據CSIS紀錄資料，確切係在CSIS資料中所紀錄的1500枚敵方來襲火箭彈中有1478枚成功遭到單發射擊攔截，據此計算可知其實戰攔截率為驚人的98.53%。官方則對外表示目前已經攔截逾5,000枚敵方RAM。[4]

然而，其也非全然沒有弱點。依據報導，哈瑪斯曾經嘗試使用電子戰系統意圖癱瘓鐵穹防空系統，並因此招來以色列空軍緊急將訊號發出大樓摧毀。[5]由此可知，電磁頻譜作戰(Electromagnetic Spectrum Warfare，參照美國國防部最新說法)近年來愈發受人重視的原因—在先進的系統只要使用了雷達又或者是通訊器材只要未加妥善保護都有可能因此被癱瘓。況且，縱使其已是屬於「低成本」的防衛性攔截武器，和敵方攻擊武器相較之下，成本依然頗為高昂，面對敵方目標依然是要面臨在成本與傷害之間選擇。

其係設計來攔截自4至70公里距離射擊的火箭，得以保護約60平方英哩的範

	塔米爾攔截彈	BM-21 Grad	Qassam	Fajr-5
圖像				
類別	攔截用飛彈	多管火箭彈	土製火箭彈	多管火箭彈
發射器備彈	20 枚	40 枚 122 毫米	(單管)	4 枚
單發成本	每發約 40,000 至 50,000 美金	約 900 至 1,000 美金	約 300(4 公里型) 至 800 美金	約 5,000 至 10,000 美金
射程	約 7 公里	約 13 至 22 公里 增程型 52 公里	依型號而定 (4 至 16 公里)	約 50 至 75 公里

以色列塔米爾攔截彈和敵方火箭彈比較表(筆者自行彙整製表)

4 Missile Defense Project, "Iron Dome (Israel)", Missile Threat, Center for Strategic and International Studies, July 13, 2021, https://missilethreat.csis.org/defsys/iron-dome/.

5 Jacob Macid, "Israeli envoy tells AP: Hamas sought to jam Iron Dome from your Gaza tower", The Times of Israel, June 8, 2021, https://www.timesofisrael.com/israeli-envoy-tells-ap-hamas-sought-to-jam-iron-dome-from-your-gaza-tower/.

圍。近年來，美國陸軍也於其計畫中開始採購，縱使去年曾一度停擺，然而也已於今年重啟測試計畫以及量產計畫，期望透過低成本、高攔截成功率來保護其前進中的士兵抑或是駐外基地。而彈道飛彈部分，依據以色列高層回應烏克蘭援助請求時敘述，其係基於應對短程火箭彈而生，並不具備對付彈道飛彈的能力。

其中，射程的部分大部分媒體、智庫皆記載為70公里[6]，然而據日本防衛相關專家，例如JSF專欄等，皆認為從60平方英里保護範圍可以推知其應為誤將其可攔截的「自4至70公里遠發射的迫砲彈、火箭彈等」當作最大射程[7]。在此，我們將試著做驗證。倘若從60平方英里保護範圍粗略計算，可以得到以下。

首先，由於傾斜發射架的射程在沒有相關模型的情況下難以計算，而其仰角頗大，產生的類橢圓將近似於圓形，據此假設發射器為垂直向上，因而假設其發射後攔截範圍為一圓形。式(1)中，我們先將其作單位換算，再在(2)中除以π，得到48.9。

$$60\,mile^2 \times 2.56\,\frac{km^2}{mile^2} = 153.6\ km^2 \qquad (1)$$

$$153.6 \div \pi \approx 48.9 \qquad (2)$$

接下來，便是開根號，得到此近似圓形的半徑，如(3)所示。

$$\sqrt{48.9} = 7 \qquad (3)$$

故此，可推知其最大射程應接近於7公里，而非外界盛傳的70公里。縱使因為為近乎橢圓，然和此結果因為仰角之故仍將大同小異。然而，由於其分散式部建架構，其發射器將散處各地，由BMC分配目標給最能有效攔截的發射器，能因而有效建立大範圍城市保護系統。

2.大衛投石索(David's Sling Air Defense System)

大衛投石索是以色列於公元2006年開始開發用以對付長程火箭(可達250公里級)以及短程地對地彈道飛彈的防空系統。主承包商和鐵穹同為拉斐爾先進防衛系統(Rafael Advanced Defense Systems)，亦同樣使用以色列航空工業的EL/M-2084 MMR雷達系統，只不過因為要能爭取更大的反應時間並發揮射程使用的是正規版而非縮小版。

全套系統由EL/M-2084 MMR雷達系統、裝有十二枚攔截彈的發射器模組以及火力控制單元組成。其中，EL/M-2084 MMR雷達系統採用氮化鎵主動相位陣列雷達技術，使用S以及C頻段。其以每分鐘30轉的轉速旋轉時有效探測距離達475公里，定向偵測則可達650公里，得以同

6 Missile Defense Project, "Iron Dome (Israel)", Missile Threat, Center for Strategic and International Studies, July 13, 2021, https://missilethreat.csis.org/defsys/iron-dome/.

7 JSF, “【実際の最大射程の推定値】アイアンドーム：10km、ダビデ・スリング：80km、アロー3：数百km”, Yahoo News Japan Experts' Forum, April 17, 2024, https://news.yahoo.co.jp/expert/articles/25db83e05c11b148e35090fc47ca549fe4f6201e.

時追蹤達1,100個目標，並可以同時偵測包含「火箭、榴彈砲、迫擊砲」(Rocket, Artillery, and Mortar，簡稱RAM)以及一般飛行目標，是一款功能多元而高性能的雷達[8]。

大衛投石索使用的彈種為Stunner飛彈，又叫做SkyCeptor，採用中途資料鏈更新以及終端光電FPA／紅外線CCD導引再加上雷達尋標器，可以據此分辨真彈頭與誘餌，並因而具有極佳的抗干擾能力[9]。至於攻擊模式，則是採取動能撞擊擊殺(hit-to-kill)戰鬥部摧毀來襲目標。依公開資料，其採用雙節式火箭設計，攔截速度達7.5馬赫，並在歷年測試中達到近乎百分之百的攔截率，性能不俗[10]。

全系統由以色列及美國共同出資，因此同時也有美國廠商諸如雷神企業參與。原先，此系統以PAAC-4的代號希望美國陸軍採用，做為比洛克希德馬丁的PAC-3更便宜然而更加先進的解決方案。不過，近年便鮮有聽聞相關發展，唯有部分如芬蘭、羅馬尼亞、澳大利亞等美國盟邦對其表示興趣，據聞應是美方轉移注意力至其他發展項目之故。[11]

	Stunner 攔截彈	Iskander 彈道飛彈	東風十五型
圖像			
製造國	以色列	俄羅斯	中共
用途	防衛攔截	地對地打擊	地對地打擊
單位成本	約 700,000 美金	約 3,000,000 美金	約 3,000,000 美金
射程	約 80 公里	400 至 500 公里	600 至 900 公里

典型彈道飛彈以及大衛投石索單發成本比較(筆者自行彙整，主要參考CSIS及日本JSF專欄分析資料編彙)[12,13,14]

8 Elta Systems, "Multi-Mission Radar Family", IAI Corporation, July 2,2021, https://www.iai.co.il/sites/default/files/2021-07/Multi-Mission%20Radar%20(MMR)%20Family.pdf.

9 "Stunner Missile Interceptor System", Projects, Army Technology, March 1, 2021, https://www.army-technology.com/projects/stunner-terminal-missile-defence-interceptor-israel/.

10 Missile Defense Project, "David's Sling (Israel)", Center for Strategic and International Studies, July 13, 2021, https://missilethreat.csis.org/defsys/davids-sling/.

11 Joseph Trevithick, "New Patriot Missile Axed By Army", October 15, 2024, https://www.twz.com/land/plans-for-new-interceptor-for-patriot-air-defense-system-axed-by-army

12 Oleksii Artemchuk, "Morning attack on Ukraine cost Russia almost US$1.3 billion", Ukrainska Pravda, August 26, 2024, https://www.pravda.com.ua/eng/news/2024/08/26/7472003/.

13,14 於下頁。

而後來，在2020年，以色列開始探索將此飛彈整合至戰鬥機掛載的可行性，仰賴其多模式導引頭、動能戰鬥部以及高速高射程，摧毀來襲目標，並藉由飛機掛載得到的初速度延伸射程，成為極長程空對空飛彈系統[15]。

成本方面，依據以色列媒體報導應為一枚七十萬美元。而拉斐爾先進防衛系同以及雷神防衛則表示倘若美方願意採納，成本可以進一步壓縮至愛國者三型的十分之一，其同短程地對地彈道飛彈等的價格相距甚異，可以說是另一種非對稱作戰武器。

(三)彈道飛彈攔截

以色列彈道飛彈防禦由高層的箭式系列(Arrow Missile Series)以及終端的大衛投石索、愛國者系統組成[16]。其中，愛國者系統將逐漸被大衛投石索給取代[17]，

	Arrow 2	Arrow 3	THAAD
外觀			
研發國	以色列、美國	以色列、美國	美國
導引模式	雙模導引 (主動雷達導引＋紅外線)	電子光學導引系統 (可轉向 ≥90°)	紅外線 FPA
戰鬥部	上級火箭 (直接撞擊以茲攔截)	動能彈頭 (另外釋放的 KV 飛行器)	動能殺傷部
機動達成方式	四片控制翼面	向量噴嘴	側向方向控制噴嘴
最大有效射高	50 公里 (?)	大於 100 公里	200 公里 (新版)
單發射器備彈量	6 枚	6 枚	8 枚
單套建置成本	不明 (無外售記錄難以判斷)	約 35 億美金 (德國採購價)	約 32 億美金 (卡達採購價)[18]

以色列防空系統與薩德(Terminal High Altitude Area Defense，簡稱THAAD)的比較(筆者編彙)

13 Missile Defense Project, "9K720 Iskander (SS-26)", Missile Threat, Center for Strategic and International Studies, April 23, 2024, https://missilethreat.csis.org/missile/ss-26-2/.

14 Collin Meisel, & David Webb, "Dong Feng-15 (CSS-6)", Missile Defence Advocacy Alliance, February, 2017, https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/todays-missile-threat/china/dong-feng-15/.

15 Tyler Rogoway, "Israel Is Testing An Air-To-Air Variant Of Its Dolphin-Nosed Stunner Missile", The War Zone, July 5, 2020, https://www.twz.com/11092/israel-is-testing-an-air-to-air-variant-of-its-dolphin-nosed-stunner-missile.

16 Luis Martinez, "'David's Sling' and 'Arrow' anti-missile systems: How Israel defeated Iran's attack", ABC News, October 2, 2024, https://abcnews.go.com/Politics/davids-sling-arrow-anti-missile-systems-israel-defeated/story?id=114403653.

17,18 於下頁。

而大衛投石索的系統細節於上一小節業已提及，在此便不再討論。而最新公布的箭式四型、天音(SkySonic)兩款由於研發期程、進度或甚至是何者會成為以色列軍方發展項目皆不明朗，故暫時不做討論。

縱使以色列具有非常強大的防空體系，尤其是針對各式飛彈以及火箭彈等，其欠缺足夠的數量應對本次大規模的來襲。箭式二型目前部署的只有兩套，三型更是只有一套，以單輛發射車八枚攔截彈、一套具有六輛發射車作為計算，總共同時在線攔截彈數量只有144枚。而且還要考慮這是攔截彈的數量，如果有漏網之魚還需要發射第二枚進行攔截。面對這次的來襲，顯得心有餘而力不足。

1.箭式二型防空系統(Arrow 2 Air Defense System)

於發展完箭式一型後，以色列並沒有將之投入量產，而是緊接著發展更進一步改良而加強的型號——箭式二型——作為其防禦系統。目前，其攔截彈已經達到第五版，是一款持續精進並具備實戰驗證的系統[19]。

全套系統由EL/M-2080綠色松樹高功率雷達、雷達冷卻系統、雷達電源車輛、雷達指揮所、戰鬥管制中心、發射管制中心、發射車輛以及通訊中心組成[20]。其中，其作戰具有高度網路化的特性，也曾測試了與美國神盾系統整合的能力。而其攔截彈具有雙級火箭設計，上層明顯收斂，採用氣動式控制翼面，並使用雙模式導引系統，能同時支援攔截吸氣式目標(air-breathing targets，ABT)以及彈道飛彈目標的能力，並採用動能撞擊殺傷彈頭，對於高速下降的敵方彈道飛彈具備一定攔截能力。

其中，其雷達「綠色松樹(Green Pine)」除了原始基本構型外，同時有經過升級的S版以及印度授權改良生產的「旗魚(Swordfish)長程雷達」兩個延伸版系統。其採用北約代號L頻段進行搜索，能具有遠距離卻又不過度犧牲精準度的特性。然而，由於其精準度依然不若更高頻的系統，攔截彈本身配置了主動雷達導引段，並配備光學導引模組增加其攔截的精度。而印度延伸版雷達，由於技術較原先推出的1990年代精進，具有更高探測距離與能同時追蹤更多目標的特性，從原本

17 Dean Shmuel Elmas, "Israel replaces Patriot with David's Sling", Israel Globes News, May 1, 2024, https://en.globes.co.il/en/article-israel-replaces-patriot-with-davids-sling-1001477726.

18 Charles Taylor, "Qatar - Terminal High Altitude Area Defense (THAAD)", Major Arms Sales, US DSCA, November 5, 2012,https://www.dsca.mil/press-media/major-arms-sales/qatar-terminal-high-altitude-area-defense-thaad.

19 "Story of the Arrow Weapon System", Israel Ministry of Defense, 頁面已備份(已從其官網下架), https://web.archive.org/web/20090908222327/http://www.mod.gov.il/pages/homa/bg.htm.

20 Missile Defense Project, "Arrow 2 (Israel)," Missile Threat, Center for Strategic and International Studies, April 14, 2016, last modified July 23, 2021, https://missilethreat.csis.org/defsys/arrow-2/.

的600公里改良為800公里，近期又增加到1,500公里的探測距離；S版，全名「超級綠色松樹」，則是具有900公里的探測距離，然而其他資訊目前難以取得。

以色列總共部署兩套箭式二型，負責介於箭式三型以及大衛投石索、愛國者系統之間的攔截。由一套共6×8=48枚攔截彈進行計算，兩套系統共可以同時發射96枚攔截彈進行攔截。然而，由於地域與先天上技術性的限制，兩套系統實際防禦範圍各為半個以色列，因此無法達成跨區域攔截支援這般任務。故此，在第二次大規模伊朗空襲中，應當只有48具攔截彈能發揮效用，畢竟中段攔截以色列只有箭式三型能達成，而彈道飛彈乃是走類拋物線彈道，對於位於以色列北方的箭式二型而言是「就算看得到也打不到」的目標，除了寥寥少數進入其射程的彈道飛彈目標以外。

之前也有國家探尋購買箭式二型，但由於系統研發經費有部分由美國負擔，美國具有智慧財產權，而且有部分零組件等皆是美國公司如波音等生產，皆須美國同意方能進行。後來，這項可能的採購便因為美國反對而告吹。

2.箭式三型防空系統(Arrow 3 Air Defense System)

作為以色列最高空層的攔截系統，具備大氣外攔截能力，據傳甚至可能具備反衛星能力。箭式三型由美國波音公司以及以色列航空工業聯手打造，由美國國會撥款協助推動研發與採購。其使用基於箭式二型的技術，包括沿用相同發射架等。其特殊之處有二，一為其得以預先發射待命而不需提前完成鎖定的能力，二則為其獨特的光電追蹤系統。

首先，其具備預先於悉知具有敵情威脅之下發射滯空，待雷達偵測到敵方來襲威脅時再由資料鏈導引接戰，可大幅提升接戰範圍，在較先期擊落敵人，避免因為雷達截面積、雷達探測距離等因素而延誤射擊，有效提升防禦縱深，達到「接戰於太空」或甚至是「接戰於敵方領空」之效。其亦曾經擊落敵方在遠方發射的地對空(防空)飛彈，創下全球第一起的紀錄。

再者，其光電追蹤系統，不同於絕大多數為固定抑或是僅具備小角度擺動以穩定的能力，其設計為具有大角度轉動能力。憑藉其獨特的陀螺儀式設計(gimbal-like design)，其得以達法向的側向觀測，具推論乃是因為雷達頻段為L頻以及防守縱深之故，使其需要具備得以中途自行追蹤、尋找敵方目標的近乎環景的能力。

其強大的性能業已獲德國青睞，經美方同意後採購作為「歐洲天空之盾(European Sky Shield Initiative)」的一環，將用於防範未來俄羅斯等的長程彈道飛彈威脅。[21]

21 Steven Scheer, "Israel moves forward on deploying Arrow-3 missile defence system in Germany in 2025", Reuters, November 10, 2024, https://www.reuters.com/world/middle-east/israel-moves-forward-deploying-arrow-3-missile-defence-system-germany-2025-2024-11-10/.

然而，其極少的數量也成了問題。例如本次衝突中，由於只具備一套系統，縱使其射程得以覆蓋整個以色列本土，甚至是其他國家的領土，然而其總共也只有6×8=48枚可直接發射的攔截彈，對於大規模來襲的目標也是「心有餘而力不足」。

我國防禦系統之反思

一、我國現行防空體系概述

我國目前採取國內自製的天弓三型系統、研製中的強弓系統(或天弓四型系統)、愛國者三型／二型以及標準二型防空飛彈構成長程防空網，再由天劍二型、逐漸汰換的標準一型、逐漸退役的麻雀飛彈構成中、近程防空系統，並有天兵系統、復仇者系統、手持式刺針飛彈等作為最後一層防空網。然而，系統與系統之間缺乏通聯，只有部分系統具有共同作戰圖像建置，預警能力逐漸老舊，應對新型態威脅的能力匱乏，對我國國家安全構成莫大的危害。況且，我國缺乏高空層攔截系統以及所謂「武器庫深度(magazine depth)」，對於綜合整體防空而言謂為大傷。

再者，我國通聯系統過度集中化，面對天災、滲透、打擊等高度脆弱，在主要節點遭到癱瘓之後，形同沒有通聯系統。再加上其採封閉式架構，相對於現今的「隨插隨用(plug-and-fight architecture)」架構謂為老舊，且使得我國難以達成新系統、非美系系統等的介接，對於我國而言是為另一大致命傷。

二、預警能力提升

我國目前陸基雷達主要仰賴鋪路爪雷達(PAVE PAWS)作為長程預警，再輔以AN/FPS-117、AN/TPS-117、AN/TPS-75以及HADR等作為空域偵蒐，以及最近新訂購的AN/TPS-77和AN/TPS-78(公告於美國DSCA官網)，構成極其複雜的偵蒐網路。然而，上述許多雷達業已老去，性能也逐漸不符合現今需求，況且絕大多數對於突然間大量目標出現抑或是電磁頻譜攻擊、電磁脈衝等無得以防範、抵抗，在實際戰場上用處不大。況且，我國天弓三型防空系統配套的雷達亦無法同時追蹤「大量」出現的目標，對於接下來的「抗飽和攻擊」是為致命傷。當然，我國現役系統已經能同時追蹤、應付數十個目標，但解放軍的飛彈火藥庫極其龐大，同時能發射的也已經達到數百枚，再加上龐大的大型無人載具機隊，對我國的威脅並非同日可語。更甚者，現役多為被動式相位陣列雷達或甚至傳統非相位陣列系統，平均維修間隔較短，可靠度亦較為低迷，實戰效率堪憂。

故此，更新雷達實為重要之舉。而在此，我們將分兩部分論述—距離較短的機動式與長程搜索、預警用的長程雷達。而其中，於長程的部分我們將不探討神秘的AN/TPY-6，將著重於國外現役的系統，以避免因錯誤資訊造成誤導，也省去討論幾乎無法取得的系統，節省篇幅。

	AN/TPY-4 3DELRR	GroundMaster 200 MM/C	Giraffe 8A	EL/M-2084 MMR
製造國／企業	美國／洛克希德馬丁集團	法國／達利斯集團	瑞典／紳寶防衛集團	以色列／以色列航太工業
頻段 (NATO)	L-band	S-band	S-band	S-band
探測距離	556km@6RPM 1,000km 固定	>400km	470km	474km 對空 100km 反砲兵
仰角限制	38 度監控偵蒐 90 度追蹤模式	80 度	大於 65 度	50 度
火控能力	目前無 (但可以 IBCS 轉達)	已驗證且部署	設計上有	已驗證且部署
同時追蹤目標	不明	不明	>1,000 一般目標 >100 彈道飛彈	1100 對空模式 200 ／分鐘 反砲兵計算模式
同時偵測目標	不明	不明		
部署彈性	可充當移動式 長程預警與機 動指揮雷達	可透過軟體更新 等「進化」以及 符合需求	極度專於減低 被電戰系統 發現概率	可依據所需進 行設定切換不 同模式、功能
機動性	中等 (拖車架構，可空運)	極高 (可獨立使用或車載)	高 (車載，可空運)	極高 (獨立使用或車載)
使用實績	有 (測評中)	有 (國家多)	無 (新推出)	有 (有實戰)
特殊功能	低空偵測、風力發電過濾	可作反砲兵雷達 或找無人機	超低旁波瓣、 追蹤彈道飛彈	實戰已當作反 砲兵雷達使用
取得難易度	中等	中偏高	中等	低
均造價	約 2,200 萬美金	約 1,540 萬美金	不明 (尚未有採購實績)	約 1,500 萬美金

我國未來可採購雷達比較說明—機動式(筆者編彙)[22,23]

本文區分兩者方式乃依其所謂機動性，也就是需不需要額外支援設備—電源車輛以及冷卻車輛或者是固定式陣地—進行。故此，AN/TPY-4等才會被劃分在機動式雷達系統之中。而本文亦同時評估各雷達對武器系統遂行指揮的「火控能力(Fire-control capability)」等，以針對我國聯合防空、天弓三型系統更新作為參採依據。

而空中部分，則仰賴六架E-2K/T系列作為長程預警，近年亦有傳出採購更為先進而可以說只有外觀類似的的E-2D的聲浪。然而，為維持可以同時應付大量出現目標，更新與精進預警設備實為必要。其中，近年來有大量相關人員建議可以改為使用無人機以及預警氣球等作為先期預

22 Lockheed Martin Rotary and Mission Systems, "TPY-4 Next Generation Multi-Mission Radar", Lockheed Martin Corporation, 2024, https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/documents/ground-based-air-surveillance-radars/2024_BRO_59181-02_TPY-X_TPY-4_brochure_LETTER%20SIZE_v1.pdf.

23 "GM 200 MM_C Datasheet", Thales Netherland, https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/database/document/2024-06/GM200%20MM_C%20Datasheet%20%282%29.pdf.

	EL/M-2080 Green Pine	AN/TPY-2	EL/M-2090 Dual Band	Kronos Power Shield
製造國／企業	以色列／以色列航太工業	美國／洛克希德馬丁	以色列／以色列航太工業	義大利／李奧納多 S.p.A.
頻段	L-band	X-band	一組 UHF-band 一組 S-band	L-band
理論精準度	中	極高	高	中
火控能力	有 (已具備實戰驗證)	有 (美國薩德系統)	不明	沒有 (僅作為預警雷達)
探測距離	500km(新版則為 900km)	3,000km 偵蒐 870km 火控	不明 (據傳為 3,000km)	1,500km 對於戰術彈道飛彈
同時追蹤目標	>30	不明	不明	>1000
部屬方式	陣地架設，可用拖車拖運離開，全系統可空運		雙雷達架構， 餘同 EL/M-2080	艦上搭載 (或要求陣地化)
特殊用途	可同時作為預警和火控系統並做彈道計算	可切換火控與偵蒐模式 (需八小時重灌)	兼具長程雷達的距離需求與火控的精度	太空偵測、全數位化系統、遠距飛彈分析
取得難易度	中偏低	困難	中等	中等
均造價	約 1.5 億美金	約 2 億美金	不明	不明 (但據傳具低成本性)

我國未來可採購雷達比較說明——程偵蒐(筆者編彙)[24,25]

警以及彈道飛彈偵測、巡弋飛彈偵測的新興手段，甚至有部分倡議廢除預警機編制。然而，無人機以及預警氣球就如同反坦克火箭彈以及俄烏戰場上的無人機無法取代坦克一般，雖然可以作為附屬，增強整體預警能力以及韌性，卻依然存在大量問題，現階段仍然無法完全取代預警機。由下表可知，無人機以及預警氣球具有預警機沒有的能力，因此可以作為輔助避免有漏網之魚，還可以協助預警機拓展管理範圍，減少額外人員編制、飛行架次的需要，進而減低成本以及飛行人員、地勤人員負擔。

近年來，隨著立方衛星的發展，太空的探索以及其防衛上的應用得以更加低成本化、商業化，降低入門門檻。如今，美亦意在其新成立的太空軍底下，開始重新發展太空偵測系統，從之前的單純彈導飛彈偵測，增加追蹤以及應對極音速武器的能力。我國或可以依循其模式，發展相關能力，並透過技術轉移，增強我國整體太空工業能力。尤其現時我國國家太空中心衛星系統主要皆為外購案，整體由國內自主研製的僅限於小型立方衛星，甚至連號稱高度自製的福爾摩沙衛星七號都是英國的產品，而且目前自製的失敗率頗高，對於具有高度急迫性、時效性與低容錯率的國家安全而言並非一個適切的選擇，等

24 Missile Defense Project, "AN/TPY-2 Radar," Missile Threat, Center for Strategic and International Studies, April 25, 2016, last modified June 30, 2021, https://missilethreat.csis.org/defsys/tpy-2/.
25 Electronics Division, "KRONOS Power Shield Datasheet", Leonardo S.p.A., 2021, https://electronics.leonardo.com/documents/16277707/18327106/KRONOS+Power+Shield+%28mm08696%29+2022.pdf?t=1671029289464.

	無人機	預警機	預警氣球
採購價格	數千萬至數億美金	數億至數十億美金	數百萬數億美金
營運成本	中	高	低
探測距離	不明 (但應和預警氣球相去不遠)	至少五百公里以上且設備較多	數公里至數百公里
滯空時間	可大於 40 小時	數小時	長達數天、月之譜
干擾影響 (以最壞打算)	失去控制、雷達致盲	雷達致盲、失去指揮能力	雷達致盲
脆弱性	目前無法反制敵方防禦系統	數量稀少	無法反制敵方防禦、氣球易破損
起降安置彈性	中 (跑道需求、中等後勤需求)	低 (長跑道需求、高度後勤需求)	高 (空曠處、中等後勤需求)
主要限制	通訊、氣象、電力、無法直接指揮	財力、人員、飛安	電力、風速、氣象、無法直接指揮
特殊功能	高度模組化，運用富有彈性	作為空中塔台、通訊中繼，指揮戰場	雷達不易偵獲、可大幅度折疊
舉例	MQ-9B、MQ-4C、MQ-1C	E-2 系列、E-7A、GlobalEye	EL/M-2083、Sky Dew、TARS

不同大氣內預警系統比較(筆者自行整彙)

待其研製曠日廢時，不若直接進行外購，並技術轉移、合作予中山科學研究院與國防創新研究小組，提升國軍在航太方面的自主能力，並於適當時機將部分技術透過中山科學研究院子公司的方式轉為商業用途，並將之改為半民營模式，提升我國整體航太能力同時透過民間參與，降低所需成本，為未來的太空計畫鋪路。而軍方太空相關能力拓展，並不僅僅局限於預警能力，更可以模組化模式發展戰時衛星通訊、情報偵搜衛星等相關能力，提升我國整體情報能力。

另外，依據筆者親自採訪國立陽明交通大學以及國立中央大學顧問所述，一枚自製光學觀測立方衛星包含測試與發射成本約莫是落在一億台幣左右，對於國防預算而言，並沒有達到如同之前大型衛星壓縮預算效果。筆者以為，倘若可以軍方的力量介入，另立國防太空發展計劃司或計劃辦公室之類，這種效果將可以遠大於委託太空中心辦理，同時確保研發資訊的機密性控管。

三、攔截系統能力提升

我國目前陸基攔截分為遠程而主要對付吸氣式目標(air-breathing targets)的天弓系統、抗彈道飛彈的愛國者系統(終端防禦)、研發中的強弓系統以及野戰防空的天兵系統、陸劍二和復仇者系統。其中，有如天弓三型防空飛彈採用破片殺傷型彈頭，對於高速下降目標，諸如遠程彈道飛彈等，不具備對付能力，只有愛國者系統具有少部分的應對能力。而海基則為標準二型擔負艦隊防空、標準一型為區域防空，近迫系統則由方陣快砲與艦砲擔任，卻完全欠乏對付彈道飛彈的能力。

解放軍近年來戰力大為提升，尤其是彈道飛彈等方面的發展，甚至出現了技術上困難的「反艦彈道飛彈」(ASBM)的

項目，對於盟軍馳援、物資運補以及艦隊安全實為大規模威脅，但我們卻沒有相關應對能力。

攔截系統能力提升可以分為彈藥補充、抗飽和攻擊能力以及遠程／高速飛彈攔截能力。

首先，彈藥補充能力。依據美國陸軍操作經驗，愛國者系統至少需要一個小時裝填，神盾系統船隻甚至需要來到一天以上，於戰時的反應能力堪憂，尤其當發射完畢後，將會出現空窗期，沒有辦法對付來襲的飛彈。為解決這個問題，可以將彈藥發射平台改為例如海馬斯火箭彈系統的填裝裝置，將彈藥補充所需時間壓縮至最低，並且簡化後勤需求，對於戰鬥時期物資匱乏、時間緊迫與人員編制需求減少有莫大的助益，同時增加抗飽和攻擊能力，可以在短時間內應對下一波飛彈攻勢。

而面對飽和攻擊，可以透過增加彈藥數量，亦即單發射車備彈數量，以及避免彈藥的浪費以茲應對。以以色列為例，十月份的伊朗空襲透過大量彈道飛彈，突破了以色列彈道飛彈防禦最大攔截數量限制，成功攻擊以色列本土。我國或可以此為戒，了解到不單單只有涵蓋率極其重要，同時仍然有戰備彈數量的重要先天限制。為了解決這個問題，首先便是增加單一發射車的戰備彈藥量。以天弓三型為例，可以將兩排兩枚共四枚的形式，改為兩排三枚共六枚或甚至是改變發射車架構，成為三排三枚共九枚的形式，增加個體備彈量，並透過增加一套系統中的發射車數量，部分呈現待機、補彈狀態其餘準備射擊的模式，增加單一套系統可應付敵方威脅數量。或甚至可以朝愛國者三型防空系統方向去發展，達到單一發射車12(愛國者三型MSE版本)至16枚(愛國者三型CRI版本或謂「原版」)的備彈量。

最後，來探討對付高速落下抑或是高速巡弋目標。針對這方面的能力，使用高速直接撞擊以大衝量抵銷敵方目標的模式幾乎成了必然。首先，撞擊分為彈性碰撞與非彈性碰撞。彈性碰撞指的是沒有產生形變等的理想情況(見式(4))，屬於動量守恆的情況，沒有任何一絲能量沒有回復到動能形式，而非彈性碰撞則考量了撞擊時產生的「融合」(見式(5))，描述兩系統融合成同一系統或是發生形變時的情況。

$$\Sigma E = E_{kinetictransfer} \tag{4}$$

$$\Sigma E = U_{結合} + E_{kinetictransfer} + H + E_{a\prime coustic} + E_{light} + \ldots \tag{5}$$

在破片式殺傷彈頭中，由於能量分散於小碎片之中，小碎片本身質量小，空氣阻力對其動能的影響顯著，而又僅有少部分能成功抵達來襲目標，故對敵方造成的傷害極其有限。而倘若直接進行撞擊，動能得以直接轉移，而且動能的大小遠大於化學能，對於高速目標的攔截效果將會遠大於破片式，同時所需體積也將會大幅縮小，有利於增加備便彈藥數量。因此，動能(直接撞擊)彈頭將會是我國需要著重發展的方向。

四、聯網機制

在這次的行動中，雖然僅止於小規模衝突，以色列與其盟邦依然展現出了高度的協調特性。其仰賴的乃是順暢的網路化管理(例如Link-16等資料鏈)以及常態化的協同作戰演習。為確保我國面對未來可能的天災人禍時能展現出高度的效率並減少人員、時間的浪費，更新我國聯合作戰指揮系統實乃必要。然而，我國目前採取的「集中式」架構以及舊式的通訊設備，在面臨天災、武力進犯或甚至是敵方間諜破壞甚為脆弱。而且，這種架構並不足以同時應對大量出現的目標，抗飽和能力低下，再加上各軍種之間缺乏交流以及作戰系統的整合，對於我國將來面對敵情威脅實乃大傷。為確保各單位、部隊之間的協調與合作，包含日本自衛隊、德國軍方、美國國防部等皆已展開相關研究。其中，較為傳統且常見的有北約的Link-11、Link-16乃至新版的Link-22等，或是美國自用但卻能達到更高層級的情資共享的神盾系統協同接戰能力(Cooperative Engagement Capability，簡稱CEC)或是最新的IBCS防空整合網路、還在計畫中的JADC2全領域指揮與控制系統，以色列與德國研發的E-Lynx系統等。

為了應對日趨複雜的先進威脅，先進的聯合戰術管制系統乃是必要。

	CEC	IBCS	BNET	Link-22
製造國／廠商	美國／洛克希德馬丁集團	美國／諾斯諾普格魯曼集團	以色列／拉斐爾系統	北約／(多國聯合計畫)
頻率(北約編碼)	C 頻段	UHF 和 L	VHF 和 UHF 可擇加入 S 和 L	HF 和 UHF
服務年代	2005 達到 FOC	2022 達到 IOC	2014	2023
共同作戰圖像	有	有	有	有
衛星通訊中繼	無	支援	支援	支援
通訊機構技術	專門相位陣列天線網路	LAN 基專門 IFCN 系統	IP 基寬頻 SDR MANET 系統	DTDMA 基開放式通訊架構
陸上作業支援	僅神盾系統	有	有(還能遂行野戰防空)	不明(昂貴)
海上作業支援	有	有 (目前需另連線 CEC 等)	目前無	有
飛行系統支援	僅部分 E-2 具備	有	有	有
加密技術	AES 技術等 (或如 3DES)	HAIPE3.0 和 NSA KG-250	AES 基頻段分散、調頻系統	NSA Type 1
擴充性	低(架構老舊更新困難)	中偏高(只要美方釋介面)	高(能高度客製化)	中(透過軟體介接)
系統相容性	只支援神盾系統搭載平臺	隨插即用(波蘭等已驗證)	隨插即用(還可客製化)	隨插即用(要取得授權)
優勢	系統成熟性高風險低、頻寬大、資料量大	能和美方遂行協同作戰、確保愛國者運作	一般作戰、單兵作戰支援、極端輕量化	和北約系統全然相容、風險低、輕量化
劣勢	架構老舊且封閉、只限神盾系統使用	系統價格高昂且器材龐大，較適高階系統	系統新穎風險高、地緣政治因素影響採購	價格高昂、需所有成員同意
取得難易度	高(需先取得神盾系統)	中偏高	中偏低 (可要求授權生產)	中等 (取決於外交狀況)

不同聯合戰術管制系統比較表(筆者自行編彙)[26,27,28,29]
註：HAIPE 3.0 代表「High Assurance Internet Protocol Encryptor 3.0」

其中，倘若具有聯網功能，將能透過避免重複射擊節省彈藥，同時允許更大的預警範圍與最大化彈藥射程的運用。

綜合上表資料，我國或可以從拉斐爾先進防衛的BNET系統著手，因為其具備單兵作戰(例如其BNET-Nano簡化版手持式迷你對講機、BNET-HH手持式單兵對講機、BNET-MP背包式通訊系統等)、野戰防空與機動部隊作戰(例如BNET-MP背包式通訊系統、BNET-V車載式機動通訊系統等)以及空中載具作戰(BNET-AR機載式通訊系統)三種情況間的協同作戰能力，對於協同作戰有莫大的助益，且允許超過1,000個節點在區域中同時存在，並具備多重頻道同時使用、訊息分割分散於不同頻段等先進抗干擾能力，還可以避免受美方時程、規範限制，同時確保未來可擴充性。

於此同時，為確保未來愛國者系統的持續性支援以及避免因為大量感測器資料輸出佔用戰鬥部隊頻寬，採購諾斯諾普格魯曼的IBCS系統亦實為必要。其可用於連結長程預警雷達、愛國者系統以及天弓三型防空飛彈系統等，或甚至是新採購的NASAMS防禦系統等，以達成高階系統之間的通聯，允許高空層以及中遠程防禦系統之間的整合。而且，其具備火力自動分配功能，能迅速自動決策哪一個發射器能最有效攔截並引導接戰，對於提升反應速度有莫大的助益。

海上作戰的部分，除了可以透過要求拉斐爾先進防衛加入海上BNET連結節點外，還可以透過改良IBCS系統或是採購洛克希德馬丁的虛擬神盾之類，介接轉入IBCS系統遂行接戰，由空軍防空暨飛彈指揮部直接管轄，引導接戰，避免因為複雜的溝通體制等妨害攔截的進行，錯失最佳攔截時機。

結　　語

近日中共解放軍大肆對我國遂行壓迫，包含軍事上的聯合利劍系列乃至於近日的「無聲利劍」(無公布代號)等，商業上的「鳳梨事件」到最近更加的刻意壓迫等，或甚至是對外交上的意圖矮化、阻撓參與國際組織等從已常態化的事物去更加

26 Naval Sea Systems Command (OOD) Office of Corporate Communications, "AEGIS Weapon System", Fact Files, United States Navy, last updated September 20, 2021, https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2166739/aegis-weapon-system/.

27 "Northrop Grumman_IBCS Overview 1", Northrop Grumman, 2023, https://cdn.northropgrumman.com/-/media/Project/Northrop-Grumman/ngc/what-we-do/land/ibcs/Northrop-Grumman_IBCS-Overview-1.pdf?rev=8045661b1fbe469c945a9f7038d3a3ba.

28 "Integrated Battle Command System", Northrop Grumman, 2024, https://www.northropgrumman.com/what-we-do/land/integrated-battle-command-system-ibcs.

29 Air & C4ISR Division, "BNET: Military Tactical Communications", RAFAEL Advanced Defense Systems, 2024, https://www.rafael.co.il/system/land-bnet-family/.

延伸，令人擔憂。

從1992臺灣海峽飛彈危機，到美國眾議院時任議長裴洛西訪臺時的環臺軍演，令人民恐懼，皆在環繞「飛彈」作為恫嚇。再加上解放軍新成立的「火箭軍」部門，其對於運用飛彈攻擊的意圖愈趨明顯。縱使飛彈無法達成佔領之效，然而卻能對於關鍵基礎建設、人民心裡、國防設施、政府機關等造成打擊，進而減弱我方抵抗能力。有效防禦將會是極其重要的關鍵。

而倘若無法抵禦這些傳統的威脅，那就更遑論新興的極音速威脅。而本次的俄烏戰爭、美國評估報告等亦表明，極音速武器目前尚不構成主要威脅。況且目前中方大量裝備的仍是傳統武器，這將會是我國接下來主要需要面對的。而極音速武器可怕之處在於其巡航高度(約介於40至90公里)、機動能力等。而巡航高度的部分可由射程涵蓋、攔截高度設計解決，機動能力則可於較為前期遂行攔截抑或是增加氣動控制能力、向量噴嘴控制能力稍微先行應對，並非完全無解。而更加先進的系統將可於來日待技術充分再行研製或甚至尋求合作。

鑒於本次以色列與伊朗交手，接下來發展方向應有以下：

一、智慧化彈藥與網路化管理

為避免珍貴的彈藥因重複射擊等而遭到浪費進而減低我國剩餘防禦能力，發生看得到卻無法攔截的窘境，又或者是因為雷達、主要網路節點等遭到打擊而發生空有發射架而無法行動的情況，或甚至是接戰指揮系統過載的情況，採用隨意網路架構與智慧化任務分配實為必要之舉。

以大名鼎鼎的神盾作戰系統(Aegis Combat System，或言Aegis Weapon System)為例，其得益於自動化的接戰模式，具有極其迅捷的接戰，能在極短的反應時間之下對多個目標遂行接戰。而今日，得益於更為先進的數位科技，可以透過更迅速、更複雜的計算與模擬，替代神盾系統的舊式運算架構，在增加可適應性、模組化及運算效能之下同時降低成本，達到類似或甚至超越的效果。而其CEC系統，則使其具備超視距接戰能力，甚至達到雷達靜默之下依據友方雷達參數遂行接戰的能力。

二、多層次化防禦

從機率的觀點而言，倘若一個系統的成功攔截機率為80%，發射兩發便是96%，若能達成多層次化的防禦體系，將能有效提高攔截成功機率，並達成分工之效。

以美國海軍為例，最高空層為標準三型，再來是標準六型與標準二型射程延伸版，再低則是在標準二型，更接近是先進海麻雀，最後方是海公羊或者方陣快砲組成的近迫防禦系統。

又或者以美國陸軍與空軍的防空體系為例，先摒除戰鬥機構成的防禦體系，最高為陸基中段防空系統(Ground-based Midcourse Defense，簡稱GMD，近期另有更新計畫)，再來是薩德系統，終端則

是愛國者系統。然而，其野戰防空效能薄弱原本只有寥寥少數的復仇者防空系統，近日方是開始以極高的速度提升，增加例如IM-SHORAD以及正在研發抑或是測試中的多種諸如DE M-SHORAD、HPM M-SHORAD等等。

如此分層的防空體系不只在本次伊朗與以色列的衝突中體現其效益，更是在歷次諸如紅海危機等大放異彩。於是乎，具有聯網共同接戰能力的多層次防禦體系實乃必要。

三、抗飽和攻擊能力

在多次攻擊之中，以「Operation True Promise 2」最為嚴重，乃是因為以色列防空體系業已達到飽和，沒有多餘的攔截彈可以遂行攔截，造成了心有餘而力不足的慘況。這在歷次以哈戰爭、以色列與真主黨的衝突中也曾發生於鐵穹身上。

與其一味的提高射程等，不若先增強應對飽和攻擊能力。其中，可以先就天弓三型發射車做改良，將之改為六聯裝發射載具，換成軍用卡車底盤而非使用拖車構型，或甚至是換成3×3的九聯裝構型，提高彈藥深度(Magazine Depth)。而陸軍的「陸劍二」則可以換做兩排至四排五聯裝系統，達到十至二十枚備彈的容量，有效應對低空來襲的巡弋飛彈、直升機、攻擊機等。

四、無人載具應對能力

近日無人載具因為具有低成本及人員損耗少的優點而興起，開始大規模被使用在戰鬥之中。其中，應對能力分為硬殺和軟殺兩大類，甚至出現結合二者的混合式系統。而由於近日業已有大量文獻進行這方面的探討，本文將不再冗述。然而，由於此威脅雖然簡單但卻非同小可，實需多加著墨與注意。

五、先期預警能力

為了延長反應時間、提高防守縱深並同時為未來的極音速飛彈防禦插入模組作為預備，早期預警能力是極其重要的。其中，又有分為陸基(land-based)、大氣層內(endo-atmospheric)與大氣層外(exo-atmospheric)三種。

陸基系統的部分，我國已有鋪路爪系統，目前只欠缺完全的整合以及系統效能的提升。當然，也可以考慮透過更新其餘雷達站為日本J/FPS-7，以色列的EL/M-2080、EL/M-2090S和EL/M-2090U，或是美方TPY-4等系統，提升我國綜合防空預警能力。同時，應當更新我國現役天弓三型系統的雷達，提升其綜合接戰、指揮與偵蒐、協調作戰相關能力，以應對日趨複雜的戰場態勢。

而大氣內系統，則有預警機、滯空預警氣球、無人機等可供選擇。其選擇將取決於使用情境與需求。

大氣外預警系統則有人造衛星。其中，鑒於近年來立方衛星朝標準化、小型化及商業化模式發展，建置軍方自行營運的衛星星座將會是低成本且安全、迅速的方式，更遑論其可以帶來的情報效益、通訊備援能力等。

六、迅速填裝機制

在這一次次的空襲之中，一再提醒了填裝的重要性。發射器的插槽是有限的，而縱使彈藥數量足夠，倘若敵方來襲目標過多，亦是無用。於前期發展，此方面較為乏人問津，只有例如海馬斯火箭彈系統因為野地機動需求而有特別設計，直到現時各國對於防空飛彈裝填方是日益重視。然而，倘若是能迅速補充，勢必將能減少其中「無彈可射」的空窗。

面對敵情威脅，畏畏縮縮抑或是委曲求全僅只是讓明天的自己後悔而已。就如同英國前首相邱吉爾爵士曾言：「在戰爭與屈辱面前，你選擇了屈辱；可是，屈辱過後，你仍得面對戰爭！」與其事後如同烏克蘭反悔，不若先提高自我防衛能力，進而達到嚇阻之效，甚至避免戰爭的發生，這也才能符合《孫子兵法》的未戰而屈人之兵的精神，並能在所有嚇阻、防範措施都無效時遂行抵禦。

作者簡介

康嘉宸先生，就讀國立臺南第一高級中學一年級。現為學生議員、英語辯論代表隊成員、物理辯論代表隊成員、升旗團隊成員。



F-5戰鬥機(照片提供：葉秀斌)